



**Ярославский филиал Физико-технологического института РАН
Им. К.А. Валиева РАН**

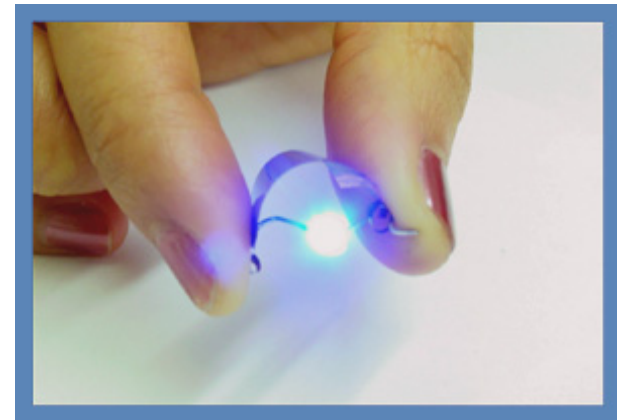
ЛАБОРАТОРИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

ПРИМЕНЕНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ (ТТЛИА)



Области возможного применения ТТЛИА:

- 1 смарт карты и RFID метки;
- 2 микросистемная техника;
- 3 солнечная энергетика;
- 4 интегральная электроника;
- 5 гибкая электроника;
- 6 микроминиатюрные устройства связи;
- 7 имплантаты;
- 8 накопители энергии для ГЛА.



Промышленные твердотельные аккумуляторы выпускают ряд компаний, в том числе компания Front Edge Technology, Inc. Аккумулятор NanoEnergy. Электрохимическая система Li-LiPON-LiCoO_2 Толщина 200 мкм. Циклируемость – 1000 циклов с потерей емкости на 50%. Время заряда: на 80% - 15 минут, на 70% - 2 минуты.



ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТОТИПОВ ТТЛИА (ЯрГУ-ФТИАН)

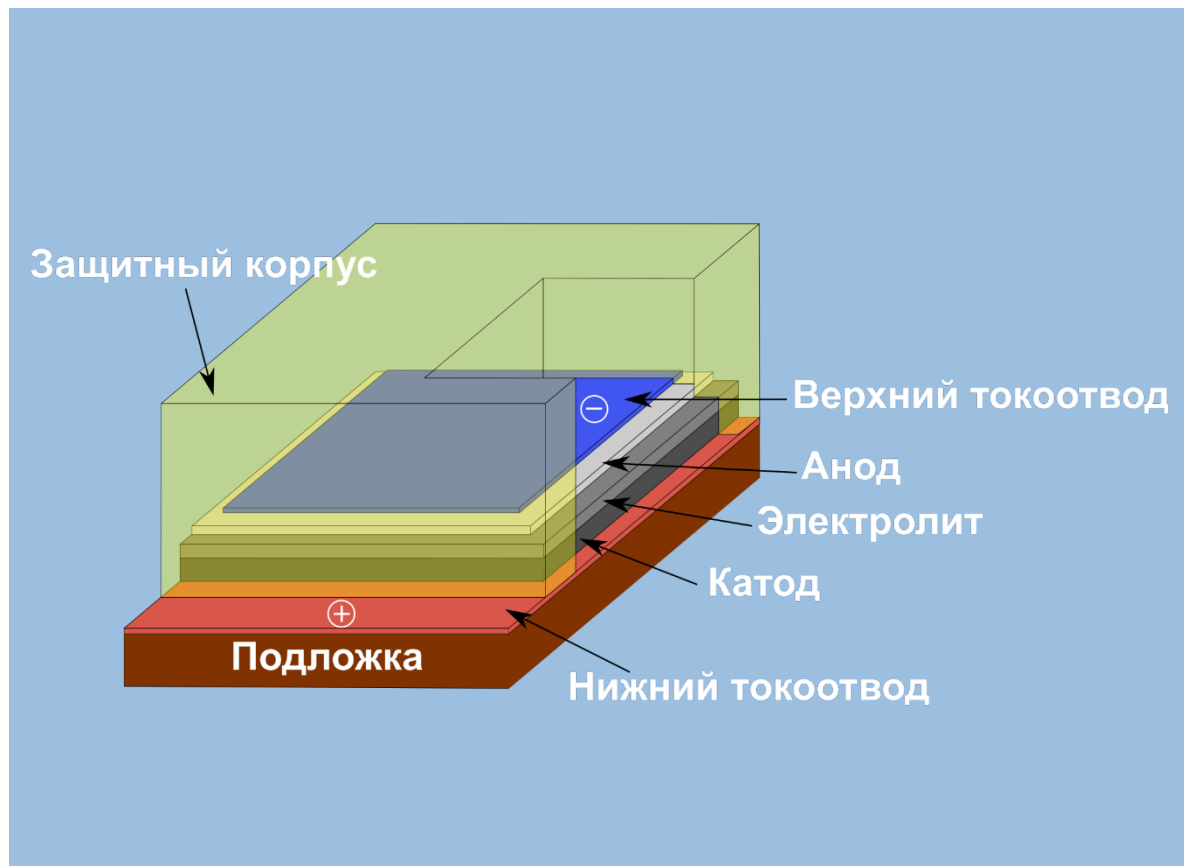
Таблица 1. Основные параметры ТТЛИА с различными материалами электродов

Электрохими- ческая система	Анод 1	Анод 2	Катод 1	Катод 2	Электро лит	Токоо твод 2 шт.	Подлож ка	Подлож ка	Всего
Материал	Литий	Нанок омпоз ит Si@O @Al	Кобаль тит лития	Пенток сид вана- дия	Фосфор- оксинит рид лития (LIPON)	Титан	Титан	Крем- ний	
Теоретическая удельная емкость мА·ч/г	3828	4212	150	883	-	-	-	-	
Практическая удельная емкость мА·ч/г,	380– 800	до 3000	150	-		-	-	-	
Проводимость, S·см ⁻¹	-	-	-	-	1,5·10 ⁻⁶	-	-	-	
Толщина, мкм	0	1 - 2	2	2	0.6 – 0.8	0.1	10	380	13.8 – 15 или 393.8- 395.0



СТРУКТУРА ТТЛИА

Вариант для рулонной технологии изготовления ТТЛИА



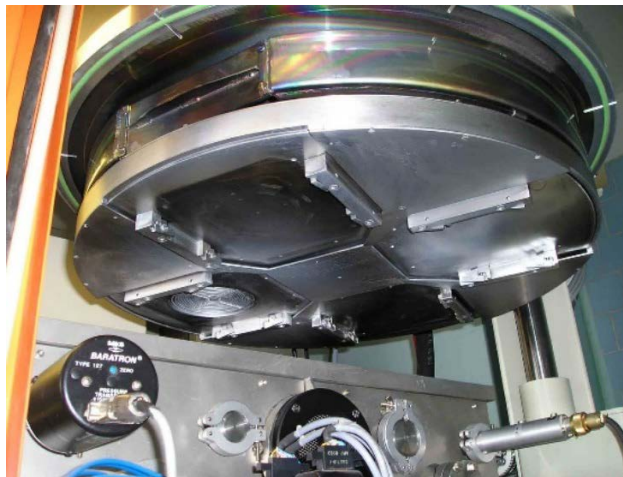
Структура ТТЛИА, формируемая последовательным нанесением функциональных слоев через маски. Целесообразна при использовании рулонной технологии



Установка МАГНА ТМР (НИИТМ) для магнетронного нанесения функциональных слоев ТТЛИА. Показана вакуумная камера с лентопротяжным механизмом

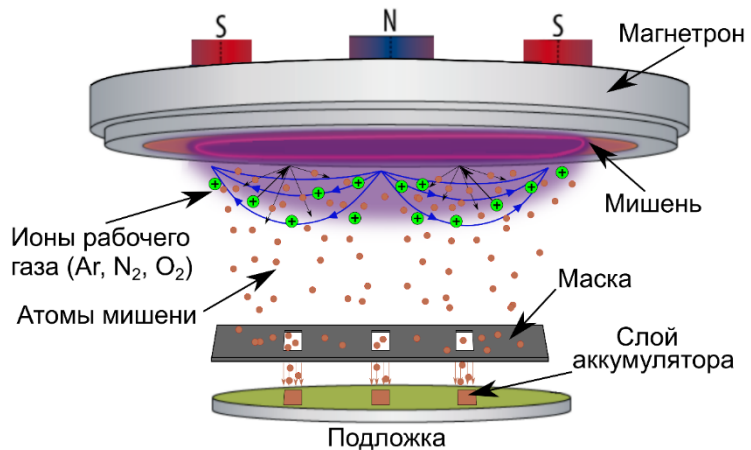
ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОТОТИПОВ ТТЛИА

Для изготовления прототипов ТТЛИА используется масочная технология. Функциональные слои наносятся на установка магнетронного распыления SCR-651 «Tetra» (Alcatel)

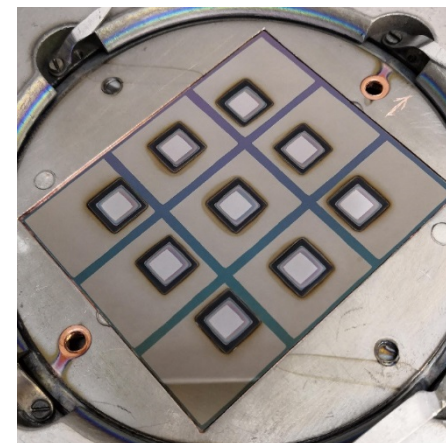
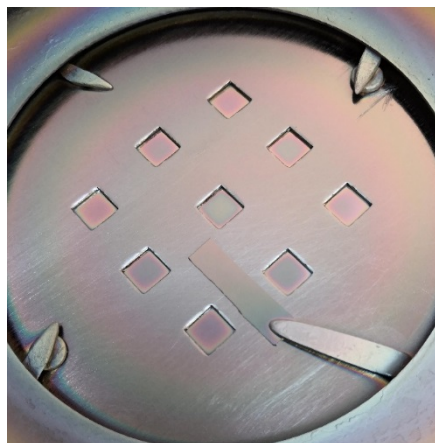


Установка магнетронного распыления SCR-651 «Tetra» (ЯФ ФТИАН)

Принцип магнетронного распыления

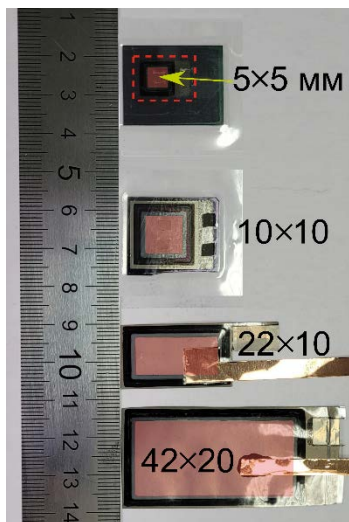


Маска (слева) и готовые аккумуляторные структуры на кремнии (справа)

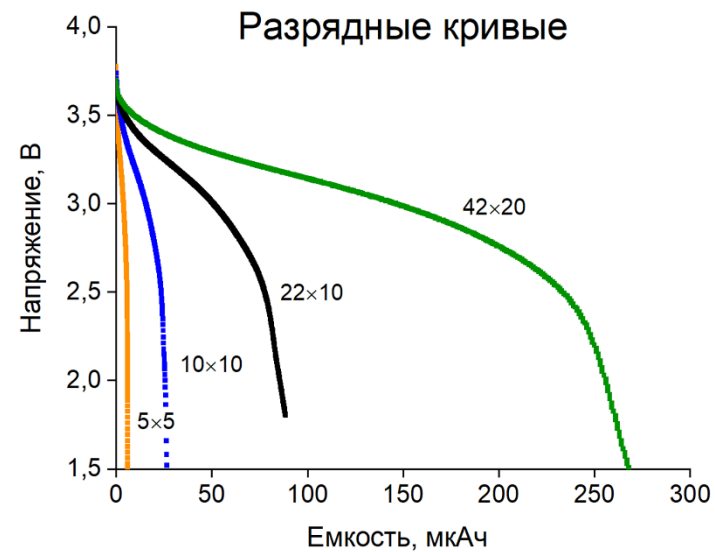




ИСПЫТАНИЯ ТТЛИА

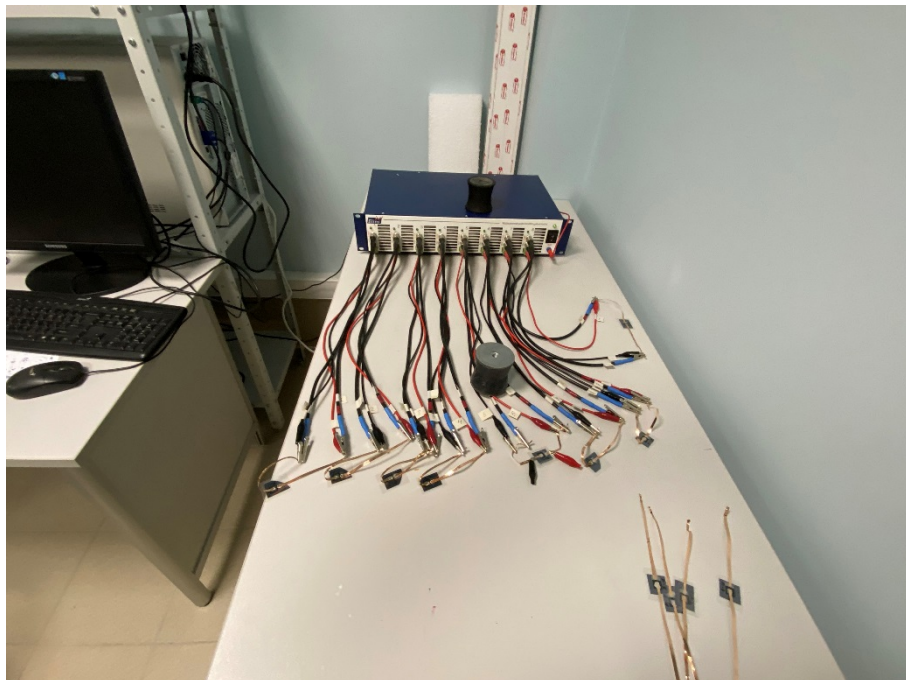


Основные
типоразмеры
ТТЛИА (слева) и их
разрядные кривые
(справа)

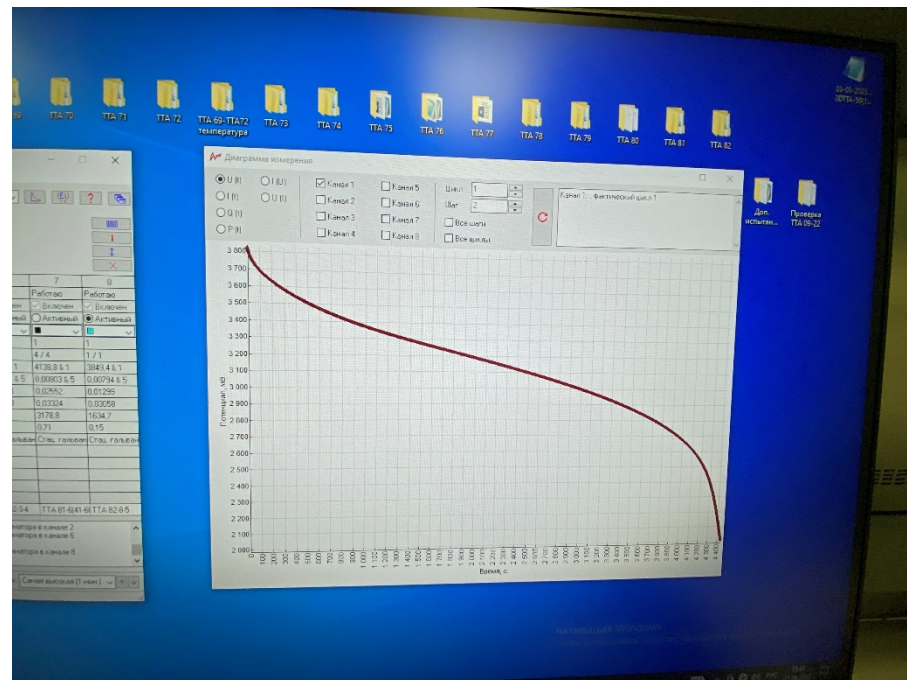


Готовые
прототипы
ТТЛИА
различных
электрохимичес-
ких систем и
типоразмеров
после
испытаний

ИСПЫТАНИЕ ПРОТОТИПОВ ТТЛИА



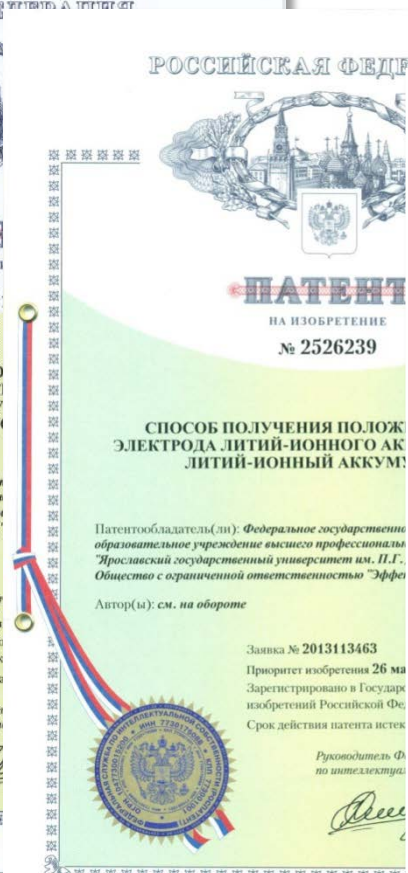
Циклирование (заряд-разряд) ТТЛИА на многоканальном потенциостате-гальваностате Р-20х8



Разрядная кривая ТТЛИА 5×5 мм при токе 8 мка. Потенциальное окно разряда от 3.8 В до 2.0 В. Время разряда – 1.22 часа. Емкость ТТЛИА – 9.8 мка·ч. Удельная емкость – 39 мка·ч/см²



СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОДОВ ТТЛИА ЗАЩИЩЕНЫ ПАТЕНТАМИ РФ



Уровень разработки ТТЛИА

1. Разработана лабораторная технология изготовления ТТЛИА

2. Изготовлены и испытаны прототипы ТТЛИА разных электрохимических систем

	Электрохимическая система	Структура (последовательность слоев снизу-вверх)	Удельная емкость, мкА·ч/см ²	Среднее рабочее напряжение ячейки, В	Циклируемость/ темп деградации	УГТ
1	Si@O@Al-LiPON-LiCoO ₂	Ti(20мкм) LiCoO₂(1мкм) LiPON(1мкм) Si@O@Al(0,3мкм) Ti(0.2мкм) Si(450мкм) SiO₂(1мкм) Ti(0.2мкм) LiCoO₂(1мкм) LiPON(1мкм) Si@O@Al(0,3мкм) Ti(0.2мкм)	до 40	3,1	>1000 циклов/ ~0,07 %/цикл	2→3
2	Si@O@Al-LiPON-Li _x V ₂ O ₅	Si(450мкм) SiO₂(1мкм) Ti(0.2мкм) Li_xV₂O₅(0,8мкм) LiPON(1мкм) Si@O@Al(0,3мкм) Ti(0.2мкм)	до 40	2,1	>1000 циклов/ ~0,05 %/цикл	2→3
3	Безанодный (Li)-LiPON-LiCoO ₂	Si(450мкм) SiO₂(1мкм) Ti(0.2мкм) LiCoO₂(1мкм) LiPON(1мкм) Ti(0.2мкм) Исходно изготавливается без анодного слоя. Анод, в виде металлического лития, формируется во время заряда аккумулятора на границе между LiPON Ti. Во время разряда анодный слой самоудался.	до 40	3,6	до 200 циклов/ ~0,4 %/цикл	2

В таблице красным цветом выделены подложки: **Ti(20мкм)** – титановая фольга толщиной 20 мкм (для гибких аккумуляторов), **Si(450мкм)|SiO₂(1мкм)** – стандартная кремниевая пластина диаметром 100 мм со слоем термического окисла толщиной ~1 мкм.